

Parálisis cerebral y sistemas de seguimiento de la mirada: ¿clic por parpadeo o permanencia?

Alejandro Clemotte, a.clemotte@alumnos.upm.es

Miguel Velasco, miguel.velasco@csic.es

Rafael Raya, rafael.raya@csic.es

Ramón Ceres, ramon.ceres@csic.es

Ricardo de Córdoba, cordoba@die.upm.es

Resumen

Los comandos básicos para el control de ordenadores a través de interfaces gráficas son comandos de alcance a un objeto en pantalla y su selección. El presente documento describe un estudio comparativo a nivel funcional de dos estrategias de selección alternativas, especialmente diseñada para personas con parálisis cerebral: clic por permanencia y clic por parpadeo, mientras que la tarea de alcance se realiza a través de movimientos oculares.

Palabras clave: Parálisis cerebral, clic, clic por permanencia, clic por parpadeo, sistemas de seguimiento de la mirada, eye-trackers, tasa de error, enfoque funcional

1. INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral es una de las más severas discapacidades de la infancia. La definición más citada de la parálisis cerebral (PC) es la que la define como un trastorno de la postura y el movimiento debido a un defecto o lesión en el cerebro inmaduro, [2].

El marco de trabajo de este documento es el estudio de los sistemas de seguimiento de la mirada como herramienta de acceso al ordenador mientras son utilizadas por personas con PC.

Las actividades que se realizan a través de las interfaces gráficas de los ordenadores actuales son generalmente tareas de alcance a un objeto en pantalla y selección, [3], hechas habitualmente a través del ratón en la mayoría de los ordenadores, aunque también existen otras opciones: lápiz digital, trackballs, etc. Sin embargo este tipo de canales no son accesibles para personas que padecen trastornos motores graves.

El objetivo de este documento es presentar un análisis de dos técnicas de selección alternativas, una mediante el parpadeo y otra mediante la permanencia del cursor, mientras que el cursor es controlado mediante los movimientos oculares.

2. METODOLOGÍA

Se han realizado pruebas con personas sin PC y con PC. Ambos grupos han realizado las mismas tareas. Los datos de las personas sin PC se utilizan como valores de referencia.

Las tareas que los usuarios realizaron consistieron en mirar una serie de figuras que iban apareciendo en la pantalla. La mirada se captura mediante un sistema de seguimiento de la mirada (eye-tracker) y esta información se envía al sistema de control, que posiciona el cursor en el punto donde se estima se encuentra la mirada. En la pantalla aparecían 10 objetos en posiciones aleatorias. La primera tarea no se incluye en el análisis ya que no se controla la posición de la mirada inicial.

La ley de Fitts se puede escribir como la Ecuación 1, donde TM es el tiempo de movimiento o de alcance al objeto (en este caso al objeto en pantalla), ID es el índice de dificultad, A es la amplitud del movimiento para alcanzar al objeto y W es el tamaño del objeto en pantalla.

$$\begin{aligned} TM &= a + b * ID \\ ID &= \log_2(A/W + 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Las distintas posiciones y tamaños de los objetivos se eligieron de manera que se realicen tareas con índices de dificultades discretos, establecidos entre 1,00 y 2,60 bits, en pasos de 0,20 bits. Esto se ha decidido con la idea de simular tareas con dificultad similares a las que nos encontramos habitualmente. Los parámetros de las tareas pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros de las tareas realizadas en el ordenador. Pix equivale a píxeles.

Parámetro de las tareas	Rango
Ancho del objeto (W)	100-200 (pix)
Amplitud de mov. (A)	200-600 (pix)
Índice de dificultad	1,00-2,60 bits

Los objetos en la pantalla van apareciendo en posiciones aleatorias. Sin embargo sus tamaños y las distancias respecto al objeto anterior en pantalla

Tabla 2: Características de los objetos en pantalla según el orden de aparición. Pix equivale a píxeles.

Orden	A (pix)	W (pix)	ID (bits)
1	327	200	1,40
2	325	160	1,60
3	505	100	2,60
4	207	160	1,20
5	575	160	2,20
6	600	200	2,00
7	427	100	2,40
8	200	200	1,00
9	248	100	1,80

respondían a los parámetros señalados en la Tabla 2. El primer objeto en pantalla aparecía siempre en alguna de las cuatro esquinas de la pantalla, a 100 píxeles del borde.

2.1. CLIC

El paso de una imagen a la siguiente lo controlaba el sistema de control, mediante la identificación de una condición de clic. Un clic se podía realizar de dos maneras: mediante un parpadeo o mediante permanencia del cursor.

2.1.1. Clic por permanencia (Dwell)

El clic por permanencia se realizaba teniendo en cuenta la siguiente relación: La dispersión de las posiciones del cursor sobre ambos ejes horizontal y vertical era menor a un umbral pre-establecido como 68 píxeles durante 1 segundo. El umbral equivale a 2 centímetros ya que la resolución de la pantalla es de 33,86 píxeles/centímetro.

2.1.2. Clic por parpadeo (Blink)

Para el caso del clic por parpadeo, se consideraba un clic cuando la duración del parpadeo era mayor a 250 milisegundos y menor a 750 milisegundos.

2.1.3. Margen temporal entre clics.

Una vez que se realizaba un clic, para volver a realizar otro clic debía pasar al menos 1 segundo (para evitar múltiples clics una vez se cumplía la condición de clic).

Los clics dentro y fuera del objeto en pantalla eran animados con dos tipos de sonidos diferentes, como realimentación para el usuario.

2.2. SOFTWARE DE CONTROL.

Se ha desarrollado un software que: captura la información relativa a la mirada que el seguidor

(eye-tracker) enviaba al ordenador; controla la posición del cursor en función de los datos del eye-tracker; controla la interfaz gráfica; identifica si el usuario desea realizar un clic (tanto por parpadeo como por permanencia). En la Figura 1 puede verse un esquema del flujo de la información: el eye-tracker captura información de los ojos del usuario, el control adquiere estos datos, en función de los cuales refresca lo que el usuario ve en la pantalla, el usuario responde de acuerdo al estímulo visual que se le presenta.

El software ha sido desarrollado sobre la plataforma .NET. en el lenguaje C# en el entorno de desarrollo Visual Studio.

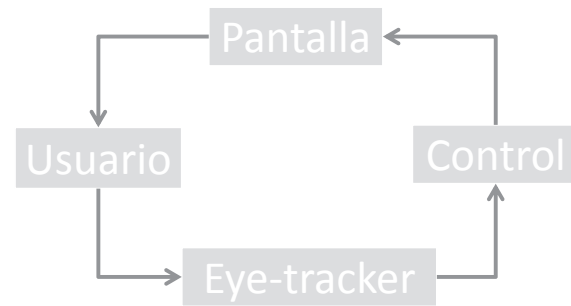


Figura 1: Esquema del flujo de información, señalado a través de las flechas.

2.3. EYE-TRACKER

Para los ensayos se ha utilizado el eye-tracker Tobii X2-30. Este eye-tracker funciona a una tasa de 30Hz y es del tipo remoto (el usuario no debe portar nada), capaz de obtener datos de ambos ojos (binocular). La exactitud y la precisión bajo condiciones de laboratorio es de 0.4 y 0.26 grados respectivamente. Existen trabajos que indican que la exactitud y la precisión en entornos diferentes a los de laboratorio es de 2.46 y 1.91 respectivamente [4]. El eye-tracker es capaz de operar a una distancia de entre 40 y 90 centímetros del usuario. Además permite que el usuario mueva la cabeza 50 y 35 centímetros sobre el eje horizontal y vertical respectivamente [5].

2.4. CALIBRACIÓN

Antes de realizar las pruebas era necesario realizar una calibración del sistema. La calibración consistió en mirar 5 figuras cuyo orden de aparición era aleatorio, pero cuyas posiciones fueron determinadas: en las 4 esquinas y en el centro de la pantalla.

2.5. VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

La variable independiente es el índice de dificultad. Las variables dependientes son: número de tareas, tiempo de alcance al objeto en pantalla por cada tarea, clic dentro/fuera del objetivo.

2.6. MÉTRICA DE COMPARACIÓN

Para la comparación de las estrategias de clic se ha utilizado la tasa de error, que es igual a la relación entre la cantidad de tareas falladas y la cantidad de tareas en total (Ecuación 2).

No se utiliza el tiempo de alcance porque se hace la comparación a nivel funcional, valoramos según se consigue o no realizar la tarea correctamente (clic dentro del objeto en pantalla). El tiempo de alcance mide la calidad de la tarea, valorando la velocidad que tarda en completarla. Esta medida no nos aporta información respecto a si una tarea se hizo correctamente o no. De hecho, es posible que una tarea fallada (clic fuera del objeto en pantalla) se haya realizado muy rápido.

$$\text{Tasa de error} = \frac{\text{Número de tareas falladas}}{\text{Número de tareas totales}} \quad (2)$$

2.7. USUARIOS

Se han realizado ensayos con 6 usuarios con parálisis cerebral del centro de día ASPACE Cantabria. Estos usuarios no son capaces de utilizar ni el teclado ni el ratón por sus desordenes motores. Durante los ensayos personal de apoyo especializado han acompañado el experimento. Además se han realizado ensayos con 4 usuarios sin discapacidad.

2.8. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos se ha realizado el procedimiento detallado a continuación:

1. Extracción de outliers
2. Número de tareas
3. Calcular tiempo de alcance
4. Calcular tasa de error

2.8.1. Extracción de outliers.

Los outliers se descartan analizando el tiempo de alcance o de clic de cada tarea. Se considera un outlier una tarea cuyo tiempo de alcance o de clic es mayor a 2 veces la desviación estándar de todos los tiempos de alcance de todas las tareas. Se

supone que en una tarea muy larga el usuario ha perdido la atención o se ha distraído.

En nuestro caso concreto, se han descartado del análisis las tareas con un tiempo de alcance mayor a 25,71 segundos (igual a dos veces la desviación estándar que fue 12,86 segundos) en el caso de los usuarios con PC. Estas tareas representan el 2,06 % del total de tareas. Para el caso de los usuarios sin PC, el umbral ha sido igual a 9,96 segundos (igual a dos veces 4,98 segundos), lo cual representa un 1,88 % del total de tareas. Estos datos se resumen en la Tabla 3.

En la Figura 2 y en la Figura 3 se pueden observar los histogramas de los tiempos de alcance una vez que fueron extraídos los outliers, para el caso de los usuarios sin y con PC respectivamente.

Tabla 3: Umbral de los tiempos de alcance a partir del cual se consideran outliers.

Grupo	Std. Tiempo de alcance (seg.)	Umbral (seg.)
Sin PC	4,98	9,96
Con PC	12,86	25,71

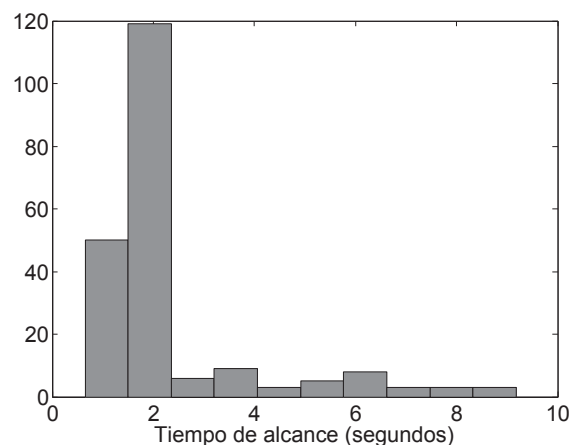


Figura 2: Histograma de los tiempos de alcance de los usuarios sin PC luego de haber extraído los outliers.

3. RESULTADOS

Se indica a continuación el número de tareas consideradas correctas, los tiempos de alcance y las tasas de error.

3.1. Número de tareas.

En promedio los usuarios sin PC han realizado 47 tareas de alcance cada uno. Más datos sobre la distribución de la cantidad de tareas de alcance

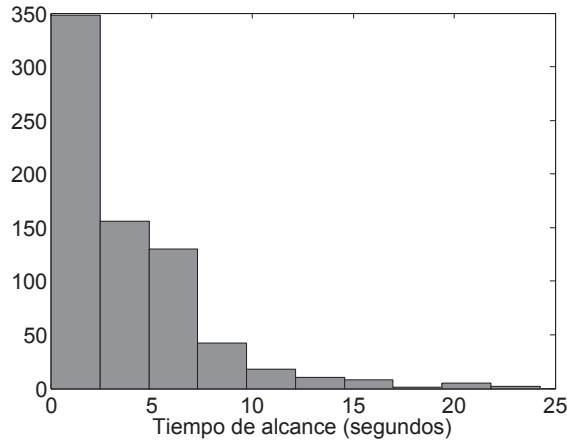


Figura 3: Histograma de los tiempos de alcance de los usuarios con PC luego de haber extraído los outliers.

por cada usuario sin PC por cada tipo del clic se puede ver en la Tabla 4. Por otro lado, los usuarios con PC han realizado 111 tareas de alcance por usuario, más del doble. Más datos sobre el número de tareas de este grupo puede verse en la Tabla 5.

Tabla 4: Número de tareas por cada usuario sin PC, según el tipo de clic.

Usuario	Blink	Dwell	Total
8	19	50	69
9	19	20	39
10	19	20	39
11	20	22	42
Total	77	112	189
Media	19	28	47
STD	0.5	14	14

3.2. Tiempo de alcance.

Los datos nos señalan que existe una ligera diferencia entre los tiempos de alcance medio intergruppal, de alrededor de 0,2 segundos, siendo esta diferencia favorable al clic por parpadeo (más rápido) para los usuarios sin PC. Sin embargo, esta diferencia de 0.2 seg no es significativa por lo que se puede concluir que ambas opciones se consiguen en un tiempo similar.

Por otro lado, los datos de los usuarios con PC señalan que las tareas se realizan más rápido con el clic por permanencia (3,8 segundos contra 6,2 segundos). Esta diferencia del 39% nos permite afirmar que el clic por permanencia es más veloz.

Más detalles de esta medida puede verse en la Tabla 6 y en la Tabla 7.

Tabla 5: Número de tareas por cada usuario con PC según el tipo de clic.

Usuario	Blink	Dwell	Total
7	29	107	136
1	32	166	198
3	17	9	26
2	49	50	99
6	57	50	107
4	21	79	100
Total	205	461	666
Media	34	76	111
Std	15	54	56

Tabla 6: Tiempo de alcance medio y desviación estándar por cada usuario sin PC según el tipo de clic.

Usuario	Blink Media	Blink Std	Dwell Media	Dwell Std
8	2.9	2.2	2.6	1.4
9	3.5	2.1	2.5	1.2
10	1.2	0.3	1.9	0.1
11	1.6	1.7	2.9	2.3
Media	2.3	1.6	2.5	1.3
STD	1.1	0.9	0.4	0.9

3.3. Tasa de error.

La tasa de error de los usuarios sin PC y con PC con ambos tipos de clic se puede ver en la Tabla 8 y en la Tabla 9 respectivamente. No existe una diferencia entre ambos tipos de clic ni para el caso de los usuarios sin PC (ambos tienen una tasa de error de 10%) ni para el caso de los usuarios con PC (45% y 47% para cada caso respectivamente).

4. DISCUSIÓN

Durante la tarea el usuario tuvo realimentación visual de la posición del cursor. Esto es posible que distraiga a los usuarios con PC sin experiencia, ya que hay casos donde el cursor no se posicionaba exactamente en el lugar de la mirada. Igualmente los usuarios con experiencia pueden haber usado esta información para realizar una compensación, mejorando los resultados finales. Sin embargo, se ha planteado el experimento de esta manera ya que es un caso que se acerca más al uso habitual de los ordenadores, donde generalmente tenemos realimentación de la posición del cursor.

Todos los usuarios con PC estaban familiarizados con la técnica de clic por permanencia en el momento del ensayo. Ya se habían realizado tareas (con otros instrumentos) con este tipo de clic. Por otro lado, el clic por parpadeo no era una técni-

Tabla 7: Tiempo de alcance medio y desviación estandar por cada usuario con PC según el tipo de clic.

Usuario	Blink Media	Blink Std	Dwell Media	Dwell Std
7	8.6	6.3	4.3	3.2
1	6.8	5.1	4.3	2.3
3	5.8	3.9	7.2	4.8
2	3.6	2.1	2.2	0.9
6	3.3	2.7	1.6	0.6
4	9.4	5.1	3.1	1.8
Media	6.2	4.2	3.8	2.3
STD	2.5	1.6	2.0	1.6

Tabla 8: Tasa de error de los usuarios sin PC según el tipo de clic.

Usuario	Blink	Dwell
8	0.21	0.20
9	0.11	0.15
10	0.00	0.00
11	0.10	0.05
Media	0.10	0.10
STD	0.09	0.09

ca conocida por ningún usuario de ambos grupos. Es posible que con entrenamiento mejoren los resultados del clic con parpadeo. Sin embargo se ha observado que al exigir a los usuarios con PC realizar tareas con un doble control (mirada para posición y parpadeo para clic) desencadena en muchos de ellos movimientos involuntarios no coordinados. Es posible que las exigencias de un control doble resulte ser una tarea muy compleja para este grupo.

Se han diseñado tareas con diferentes índices de dificultades, principalmente para simular tareas con complejidad similar a las tareas de la vida diaria. Sin embargo la tasa de error se calcula agrupando todas estas tareas. Esto se ha realizado principalmente para tener resultados más claros.

En la Figura 4 se puede ver a los usuarios con sus respectivas tasas de error. En particular se han agrupado a los usuarios con PC según tengan menor tasa de error con el clic tipo Blink (parpadeo) o con el clic tipo Dwell (permanencia). Parece ser que los usuarios que tienen mayor tasa de error globalmente son mejores con el clic con parpadeo y que los usuarios con menor tasa de error global son mejores con el clic tipo Dwell, aunque la diferencia no es clara.

Tabla 9: Tasa de error de los usuarios con PC según el tipo de clic.

Usuario	Blink	Dwell
7	0.38	0.51
1	0.38	0.77
3	0.82	1.00
2	0.20	0.10
6	0.39	0.12
4	0.52	0.34
Media	0.45	0.47
STD	0.21	0.36

5. CONCLUSIÓN

Este trabajo se enmarca en el estudio de los sistemas de seguimiento de la mirada como canal de acceso alternativo al ordenador para personas con parálisis cerebral. En las interfaces gráficas actuales los movimientos de alcance y selección son los comandos básicos para la utilización de los ordenadores. En particular este documento presenta el análisis de datos de un experimento comparativo de dos estrategias de clic: por permanencia y por parpadeo mediante la comparación de las tasas de error.

Los datos de los usuarios con los que se ha realizado la experiencia nos muestran que es mejor el clic por permanencia para los usuarios con más experiencia y mejor el clic por parpadeo para los usuarios sin experiencia, aunque no nos señalan una clara tendencia.

La conclusión es que aunque ambos métodos proporcionan tasas de error similares en promedio, sí se observa que el tiempo de alcance es bastante menor con el clic por permanencia, aunque hay que ser conscientes también de que los usuarios estaban más familiarizados con este método.

Parece ser que lo más práctico para los usuarios con PC es diseñar sistemas ampliamente versátiles con múltiples opciones de configuración y adaptación, principalmente debido al amplio espectro de perfiles de estos usuarios y su alta heterogeneidad. Esto sigue el principio del diseño centrado en el usuario [1], el cual logra una mayor satisfacción y mejor experiencia de uso con el mínimo esfuerzo de parte del usuario.

Agradecimientos

Los autores agradecen a ASPACE Cantabria (España), en particular a Teresa González y Antonio Ruiz. A. Clemotte agradece a Itaipu Binacional-Paraguay.

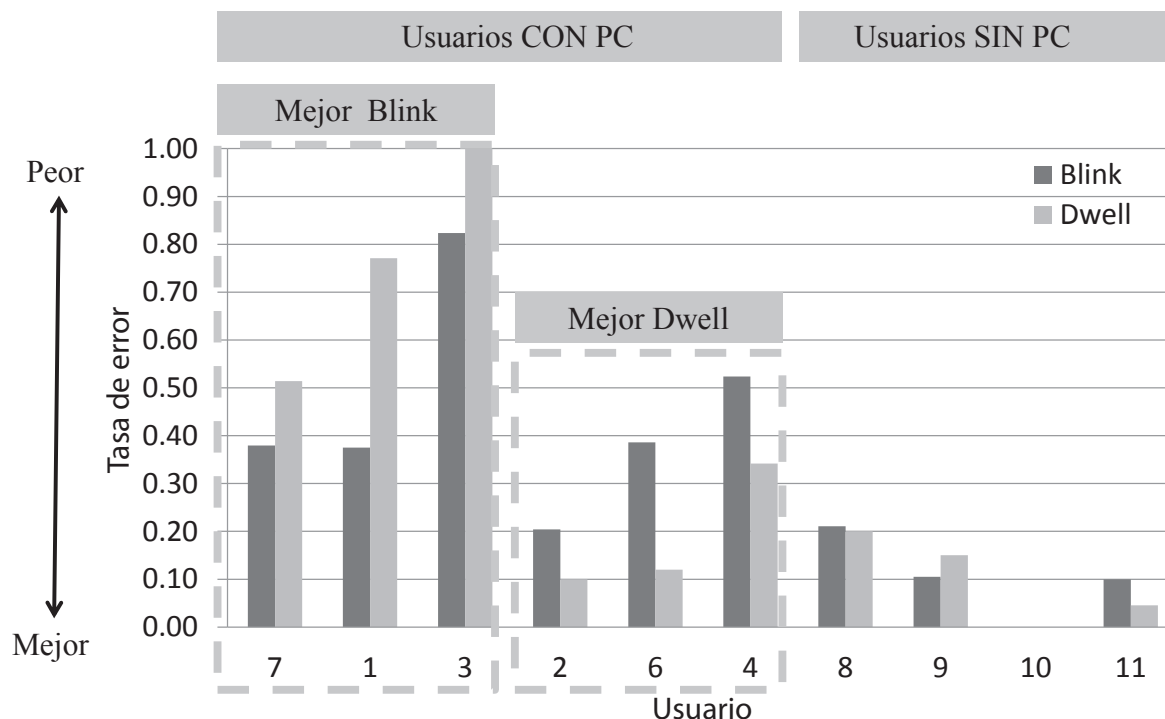


Figura 4: Tasas de error de los usuarios, con ambos tipos de clic. Los usuarios han sido agrupados según tengan mejor resultado con uno u otro tipo de clic.

Referencias

- [1] C. Abras, D. Maloney-krichmar, and J. Preece. User-Centered Design. *Design*, 37(4):1–14, 2004.
- [2] M. Bax, M. Goldstein, P. Rosenbaum, A. Leviton, N. Paneth, B. Dan, B. Jacobsson, and D. Damiano. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(8):571–576, July 2005.
- [3] A. Clemotte, F. Brunetti, R. Raya, R. Ceres, and E. Rocon. Interfaces alternativas de acceso al ordenador: principios comunes y propuesta de métricas de valoración. In *VII Congreso Iberoamericano de Tecnologías de apoyo a la discapacidad, IBERDISCAP*, Santo Domingo, 2013.
- [4] A. Clemotte, M. Velasco, D. Torricelli, R. Raya, and R. Ceres. Accuracy and Precision of the Tobii X2-30 Eye-tracking under Non Ideal Conditions. In *International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics (NEUROTECHNIX 2014)*, Roma, 2014.
- [5] Tobii. Accuracy and precision Test report. Tobii X2-30. Technical report, 2013.